

sse, F.

Beiträge zur Mechanik der Herzbewegung.

Von

Dr. Fr. Hesse,
bisherigem Prosector an der anat. Anstalt in Leipzig.

(Hierzu Taf. XV u. XVI.)

Archiv f. Anat. u. Phys. 1880.



from Prof. Ludwig

Leipzig. 1882

Beiträge zur Mechanik der Herzbewegung.

Von

Dr. Fr. Hesse,
bisherigem Prosector an der anat. Anstalt in Leipzig.

(Hierzu Taf. XV u. XVI.)

Von jeher stellte man der beschreibenden Myologie die Aufgabe, neben der Gestalt des erschlafften Muskels auch die Wirkung zu ermitteln, die er durch seine Zusammenziehung üben kann. Um diese letztere zu erkennen, bediente man sich für die Muskeln des Skelets einer Methode, die nur auf diese anwendbar, weil sie die Leistung des Muskels nicht sowohl aus seiner Faserung, als aus der Stellung seiner Ansatzpunkte ableitete. Dieses Verfahren ist für die Muskeln, wie sie am Herzen vorkommen, nicht mehr brauchbar, und man wird desshalb, um auch an ihnen Aehnliches wie an den Skeletmuskeln zu erkennen, zu neuen Hülfsmitteln greifen müssen, analog den von Duchenne an den reizbaren Muskeln des Skelets und des Gesichtes angewendeten. Diese werden hier ebenso wenig wie dort darin bestehen, aus einer Zergliederung der Fasern und einer darauf gegründeten analytischen Behandlung die Form im erschlafften und contrahirten Zustande der Muskeln abzuleiten, sondern sie werden sich darauf zu beschränken haben, die Form des Herzens in zwei Grenzstellungen zu fixiren und für diese die gegenseitigen Beziehungen der Herztheile zu ermitteln. Aus dem Vergleich beider Zustände werden sich Aufschlüsse über die eingetretenen Aenderungen ergeben, und dann erst wird sich mit Aussicht auf Erfolg die Frage stellen lassen: wie geschieht der Uebergang der einen Form in die andere.

Aber welche Vortheile kann eine genauere Darstellung dieser Verhältnisse bieten, da es doch schon bekannt ist, dass das schlaffe Herz sich nur von einer Seite her füllt, und das contrahirte seinen Inhalt nur nach einer Seite hin auswirft? Lassen wir die Genugthuung ganz ausser Frage, einen

Vorgang zu erkennen, dessen Wichtigkeit für das Leben unbestritten. Zu bestimmen sind die Grenzwerthe der Leistungsfähigkeit des Herzens, das maximale und minimale Volumen seiner Höhle, die Schlussfähigkeit seiner Klappen, seine Wirkung auf den Spitzenstoss, seiner Axendrehung u. s. w., also lauter hydraulisch und diagnostisch bedeutungsvolle Momente. Aber noch weiter, das endliche Ziel der Muskelphysiologie des Herzens, die Ableitung seiner Formen aus dem Zusammenwirken verschieden verlaufender Fasern, ist nur auf diesem Wege zu erstreben, weil das Problem eine bestimmte Fassung erhält durch seine vorweggenommene Lösung.

Die erste Aufgabe, die wir uns stellten, war die, an ein und demselben Herzen Vergleichungen zwischen seiner diastolischen und seiner systolischen äusseren Gestalt anzustellen.

Bei dem fortwährenden schnellen Wechsel beider Zustände kann dies am lebenden Thiere unmöglich mit hinreichender Genauigkeit geschehen und wir nahmen deshalb unsere Zuflucht zu dem überlebenden Herzen des frisch getödteten Thieres. Durch Hrn. Prof. C. Ludwig wurden mir zu den angestellten Versuchen die Hülfsmittel des physiologischen Instituts zur Verfügung gestellt. Hierfür, wie für den mannigfach gewährten Rath und Beistand habe ich demselben besten Dank zu sagen.

Der Hund wurde aus den Carotiden verblutet, das Herz nach Unterbrechung aller Vorhofszuflüsse herausgenommen und die Aorta und Pulmonalarterie jede mit einem Glasrohr versehen, das gleichzeitig zur Suspendirung des Herzens und zu seiner Füllung mit dem defibrinirten Blut desselben Thieres diente. Die Pulsation der Vorhöfe, welche sogleich eintritt und sich fast eine Stunde lang erhält, und die Weichheit, die die Ventrikelwandung in dieser gangen Zeit behält, zeigen, dass unter solchen Umständen das Herzfleisch sehr lange lebensfähig erhalten, und vor Todenstarre geschützt werden kann.

Zuerst versuchten wir an solchen erweiterten Herzen eine Anzahl von Messungen der Oberfläche in verschiedenen Richtungen vorzunehmen, in der Absicht, diese Maasse mit denen zu vergleichen, die das Herz nach seiner Contraction aufweisen würde. Die Contraction wurde dadurch herbeigeführt, dass wir das Herz entleerten und durch Eintauchen in eine auf 50° C. erwärmte gesättigte Lösung von doppelt chromsaurem Kali wärmestarr machten. Indess es begegneten uns hierbei zwei empfindliche Uebelstände. Erstens liessen sich nach der Veränderung, welche die Herzoberfläche durch die Contraction erfahren hatte, nur für sehr wenige Maasse genau dieselben Punkte wiederfinden, deren Abstände am dilatirten Herzen gemessen worden waren, zweitens hatten wir bei dieser Methode das dilatirte Herz für immer verloren. Die davon abgenommenen Maasse konnten für seine körperliche Erscheinung doch nur einen sehr unvollkommenen Ersatz bieten und in der

Vervollkommnung der Versuche durch Vermehrung der Messungen waren wir durch die Zeit beschränkt, die zwischen dem Tode des Thieres und dem Eintritt in die Todenstarre liegt.

Die Beseitigung des ersten Mangels bestand darin, dass wir auf der Herzoberfläche eine Anzahl Marken anbrachten, welche ihren Ort auch bei der Contraction unverändert beibehalten. Wir benutzten hierzu kleine Nadeln, wie sie die beistehende Abbildung in natürlicher Grösse zeigt. Die Spitze der Nadeln beschreibt eine viertel bis halbe Schraubenwindung und wird bis zur Kuppe in's Herzfleisch eineingedreht. Dann wird der Ring, der nur zur bequemen Handhabung dient, mit der Drahtzange abgeklemmt, sodass nur die kleine Kuppe über der Herzoberfläche stehen bleibt. Die spirale Drehung sichert den Verbleib der Nadel im Herzfleisch bei der nachfolgenden Contraction in ausgezeichneter Weise, ja sie gewährt selbst gegen stärkere Manipulationen, denen das Herz ausgesetzt wird, genügenden Widerstand. Die Einführung der Nadeln aber ist so leicht, dass sich in wenigen Secunden eine ganze Anzahl davon appliciren lässt.



Dem zweiten Uebelstande liess sich dadurch abhelfen, dass die Oberfläche des mit Marken versehenen Herzens im dilatirten Zustande abgegypst und von der so erhaltenen Hohlform ein neuer Gypsausguss hergestellt wurde. So liess sich das dilatirte Herz mit allen Einzelheiten der Oberfläche auf die Dauer erhalten. Es gehört hierzu schon viel Gewandtheit. Denn die Hohlform muss erstarren, bevor die Todenstarre eintritt, die Gypsschicht muss von geringer Dicke sein, um das Herz möglichst wenig zu belasten, und dieser Umstand erschwert dann das Zusammensetzen der zertrümmerten Form. Durch Anwendung von Herzen ganz frisch verbluteter Thiere liess sich die zum Abgypsen erforderliche Zeit gewinnen; für Ueberwindung der technischen Schwierigkeiten aber sind wir dem hiesigen Gypsmodelleur, Hrn. Steger, zu grossem Dank verpflichtet. — Dass das Herz von dem Gewicht des aufgelegten Gypsbreies nicht verändert wurde, bewies der Stand der Flüssigkeitsspiegel in den beiden in die Aorta und Pulmonalarterie eingesetzten Füllungsröhren. — Der grösseren Handlichkeit wegen haben wir dann jedes Mal auch von dem contrahirten Herzen noch einen Gypsabguss hergestellt und die vergleichenden Messungen an den beiden zusammenhängenden Abgüssen vorgenommen.

Der nächste Abschnitt, welcher über die äussere Gestalt des Herzens handelt, enthält die Mittheilung der auf diesem Wege gewonnenen Resultate.

Für die Untersuchung der Ventrikelhöhlen und -Wandungen ist dieselbe Methode nicht anwendbar, da sich Ausgüsse der Höhlen nicht herstellen lassen, ohne dass die Wand zerstört wird. Wir haben uns für diesen Zweck Paare von jungen Hunden gleichen Wurfes verschafft. Es liess

sich voraussetzen, dass bei Uebereinstimmung von Alter, Körpergrösse und Gewicht zweier Thiere desselben Wurfes auch die Herzen übereinstimmende Dimensionen besitzen würden, und diese Voraussetzung fand durch Messungen der lebensfrisch entnommenen Herzen ihre volle Bestätigung. Indem die Herzen in ihrem Herzbeutel verblieben, wurde allem Ausfliessen des Ventrikelinhaltes vorgebeugt und um auch den Ausflussöffnungen keine unnatürliche Gestalt zu geben, wurde die Aorta und Pulmonalarterie abgebunden und jeder Ventrikel von einer Vorhofsvene ausgefüllt, während die übrigen ebenfalls Ligaturen erhielten.

Das eine Herz wurde nun mit defibrinirtem Blut unter wenigen Centimetern Druck gefüllt,. in eine kalte gesättigte Lösung von doppelt chromsaurem Kali getaucht, während das andere entleert und in einer auf 50° erwärmten Lösung desselben Salzes zur Wärmestarre gebracht wurde. Nach 4 bis 5 Tagen wurde das Blut aus dem dilatirten Herzen abgehoben und durch die erhärtende Lösung ersetzt. Nach 8 bis 10 Tagen ist die Erhärtung beider Herzen in der beabsichtigten Form erfolgt und zwar ist die Erstarrung eine solche, dass die nachfolgende Alkoholbehandlung, welche das Zerlegen der Präparate in dünne Scheiben erleichtert, keine nennenswerthen Formveränderungen mehr daran hervorbringt. Dieser Methode verdankt die ganze Taf. XVI ihre Entstehung.

Wir haben für die Fixirung des Herzens dem chromsaurem Kali den Vorzug vor dem Alkohol gegeben, nicht nur wegen der wasserentziehenden Wirkung die der Alkohol hervorbringt, sondern auch weil dieselbe auf das überlebende Herzfleisch einen so starken Reiz ausübt, dass die Erhaltung der dilatirten Form durchaus unzuverlässig wird.

Eine kritische Erwägung der geschilderten Methoden wird schwerlich verfehlen, dem Leser die Frage hervorzurufen: Entspricht die künstliche Erweiterung, die unsere Herzen erfahren haben, der natürlichen Diastole und ist die künstliche Starre identisch zu setzen mit dem natürlichen systolischen Zustande?

Im Leben ist die diastolische Gestalt des Herzens abhängig von den elastischen Eigenschaften seiner Wände und von dem Druck, welchem die Aussen- und Innenfläche exponirt ist. Da wir nun eine Erweiterung der Herzen herbeiführen, welche, wie das Pulsiren der Vorhöfe und selbst der Ventrikel erkennen liess, ihre Contractilität, also ihre wichtigste Lebenseigenschaft besassen, so ist nicht anzunehmen, dass die elastischen Eigenschaften der Muskelwandungen wesentlich gestört gewesen wären. Den Druck auf die inneren Wandflächen aber suchten wir dem Leben möglichst nachzuahmen, indem wir die Ventrikel unter einem Drucke von etwa 150 ^{mm} Blut füllten. Hierdurch gelangen, wie wir später zeigen werden, die Ventrikel nahezu auf das Maximum ihrer Füllung.

Unzweifelhaft kann behauptet werden, dass die Gestalt, welche das Herz unter Anwendung der geübten Methode bei einem gegebenen Werthe der drückenden Blutsäule annimmt, nur noch von den elastischen Eigenschaften der Herzwand abhängig sei. Somit könnte man die von mir erzeugte diastolische Gestalt die typische nennen, von welcher alle anderen, die unter Anwesenheit von accessorischen Widerständen auf der Aussenfläche des Herzens entstanden sind, nur Bruchstücke darstellen. Damit ist auch ausgesprochen, dass vom theoretischen Standpunkte aus die von mir erzeugte Gestalt den allgemein giltigen Ausgangspunkt für die Contraction giebt und dass sich alle anderen diastolischen Formen aus ihr ableiten lassen, wenn man im Stande ist anzugeben, wie sich die Widerstände über die äussere Herzoberfläche vertheilen.

Um endlich die dauernde Contraction der gesammten Musculatur herbeizuführen, haben wir kein Mittel finden können, welches zu gleicher Zeit eine so energische Wirkung und so wenig störenden Einfluss auf die Textur der Herzwandungen ausüben könnte, als die combinirte Einwirkung von Wärme und einer Gerinnung herbeiführenden Salzlösung. Hierdurch gelang es auch, nicht nur eine sehr vollständige Zusammenziehung zu erreichen, sondern gleichzeitig die Form des Herzens dauernd so herzustellen, dass die Theile desselben auch nach der Zerschneidung in der Lage verharrten, welche ihnen während der Systole eigen war.

Die äussere Gestalt des Herzens.

Sind die Ventrikel, deren Wandungen noch reizbar sind, von den grossen Arterien her unter dem Druck einer etwa 150 ^{mm} hohen Blutsäule gefüllt worden, und ist dabei ihrer Ausdehnung kein äusseres Hinderniss entgegengetreten, so haben sie eine Gestalt angenommen, welche sich im Ganzen und Grossen einer Halbkugel nähert. Von den drei aufeinander senkrechten, die grössten Ausbuchtungen mit einander verbindenden Geraden kommt die bedeutendste Länge der zu, welche an der Basis der Ventrikel von rechts nach links gezogen wird; die in derselben Ebene von hinten nach vorn gelegte ist etwas kleiner und die von der Spitze nach der Ebene der Ostia venosa gelegte die kürzeste. — Ueber die Ebene, welche durch die beiden venösen Oeffnungen gelegt werden kann, ragt der Conus arteriosus in der Richtung nach den Arterien hin merklich hinaus. Die Fläche, in deren Mitte die hintere Längsfurche liegt, ist in der Richtung von der Basis zur Spitze merklich weniger gewölbt, als die vordere Fläche, auf welcher sich die grösste Ausbuchtung des rechten Ventrikels ausprägt.

Die vordere Längsfurche, in welcher die Aussenwand des rechten Ventrikels mit dem linken verschmilzt, zieht in einer Spirale nach abwärts und rechts und hat eine nicht unbedeutende Tiefe.

Haben sich die noch reizbaren Muskeln unter widerstandloser Entleerung ihres flüssigen Inhaltes bis zum erreichbaren Maximum zusammengezogen, so kommt nun die Gestalt der Ventrikel der eines Kegels nahe. Von den drei vorhin erwähnten Abständen haben die beiden in der Ebene der Basis gezogenen eine bedeutende und zwar annähernd gleich grosse Verkürzung erfahren; die Länge der dritten aber, welche den Abstand der Spitze von der durch die venösen Mündungen gelegten Ebene misst, ist unverändert geblieben, so dass sie nun an Grösse die beiden durch die Basis gelegten Durchmesser beträchtlich übertrifft.

Die Hervorwölbung, welche dem Conus arteriosus über die Ebene der venösen Oeffnung zukam, ist beträchtlich vermindert und der Unterschied der Wölbung, welcher vorhin in der Richtung von der Basis zur Spitze hervortrat, ganz verschwunden. Die Rinne, welche die vordere Längsfurche am dilatirten Herzen bildete, ist jetzt in Folge der Abnahme der Wölbung des rechten Ventrikels ausgeglichen und ihr Verlauf ist nur noch durch die stark vorspringende Coronargefässe deutlich angezeigt. Sie ist dabei nicht nur steiler geworden, sondern es ist auch ihre spiralige Drehung noch mehr markirt.

Die Abbildungen auf Taf. XV und XVI sind bestimmt, die beschriebenen Zustände zu veranschaulichen. Die Figuren der ersteren Tafel geben die Ventrikelproportionen eines Herzens, das erst im dilatirten, dann im contrahirten Zustande abgegypst wurde. Beide Abgüsse wurden übereinstimmend zur Projectionsebene situirt und es kann höchstens die Art der Einfügung des kleinen Bildes in das grosse als willkührlich bezeichnet werden. An den Projectionen der Vorderfläche wurde ein Punkt * der Basis als unverrückt angenommen, während die Projectionen der Basen so ineinander gefügt wurden, dass ihre Mitten (entsprechend der Aortenöffnung) als nicht dislocirt gelten. Die gleichen Maasspunkte sind mit denselben Ziffern bezeichnet und zwar am dilatirten Herzen mit römischen, am contrahirten mit arabischen. Die Abbildungen auf Taf. XVI geben Durchschnitte durch den diastolischen und systolischen Ventrikel zweier möglichst gleichgrossen, in verschiedenen Zuständen fixirten Ventrikel. Die unter Fig. 4 mit den gleichen Zahlen 1 und 1′, 2 und 2′ u. s. w. bezeichneten Bilder entsprechen Querschnitten, die auf je annähernd gleichem Abstand von der Basis der beiden Ventrikel geführt wurden. Figg. 5 und 8 geben je einen Längenschnitt durch zwei gleichgrosse Herzen wieder.

Dass der wesentliche Vorgang der systolischen Verkleinerung des Herzens durch eine Verschmälerung seiner Querdurchmesser und ohne Verminderung seiner Länge erfolgt, wird hierdurch überzeugend nachgewiesen sein.

Es würde die Aufmerksamkeit des Lesers unnöthig in Anspruch nehmen, wenn wir ausführlicheren Bericht über die zahlreichen Messungen geben wollten, die wir zur Sicherung dieses Ergebnisses vorgenommen haben. Doch möchten wir nicht versäumen, über bestimmte Abschnitte der Herzoberfläche einige genauere Angaben hinzuzufügen.

Wegen der Beziehungen der Ventrikelbasis zu den grossen Oeffnungen musste es von Interesse sein, eine genauere Kenntniss über das Maass der systolischen Verkleinerung der Basis zu erlangen. Planimetrische Messungen, welche zu diesem Zwecke an den Verticalprojectionen der Basen von drei verschiedenen Herzen vorgenommen wurden, zeigen, dass die systolische Basis nur wenig mehr als den halben Flächeninhalt der diastolischen besitzt.

Der Flächeninhalt der Basis betrug:

am ersten Herzen	dilatirt:	77 □cm,	contrahirt:	41 □cm	
„ zweiten	„	„	67 „	„	36 „
„ dritten	„	„	52 „	„	32 „

Es hatte also — die dilatirte Basis zu 100 Flächeneinheiten gerechnet, — die contrahirten bei 1) 53, bei 2) 54, bei 3) 63 solcher Einheiten. Die Kleinheit des Unterschiedes bei 3) hatte ihre Ursache darin, dass zur Zeit, als das diastolische Herz abgegypst wurde, bereits die Todenstarre begonnen hatte.

Von der hieraus hervorgehenden Verminderung der basalen Fläche werden in geringerem Maasse die arteriellen, in weit grösserem die Atrioventricular-Oeffnungen betroffen. Wie wichtig gerade dieses für die vom contrahirten Ventrikel einzuleitende Strömung des Blutes ist, leuchtet ein. Auf die Ursache dieses Verhaltens werden wir noch einmal zurückkommen.

Ferner bedürfen die Angaben über Veränderlichkeit der Länge des Herzens einer Vervollständigung. Sie sind streng nur auf den linken Ventrikel zu beziehen, der allerdings für die Form des Herzens vorzugsweise maassgebend ist. Auf der Aussenfläche der linken Kammer bleiben die reinen Längenmaasse von der Ringfurche bis etwa zum unteren Drittel hinab ganz unverändert. Die Spitze und die vordere Längsfurche dagegen zeigen geringe Abnahmen ihrer Nadelabstände. Die Spitze in Folge einer Axendrehung, die alsbald besprochen werden soll, die Längsfurche in Folge ihres schrägen Verlaufes, welcher bedingt, dass hier die Nadelstände keine reinen Längenmaasse, sondern gleichzeitig Quermaasse angeben. Wenn sich in Versuchen, wo wir aus bestimmten Gründen das diastolische Herz eine andere als die als typische bezeichnete Gestalt annehmen liessen, auch eine Verkürzung des linken Ventrikels in der Systole beobachten liess, so bedarf es nach dem Gesagten kaum des Zusatzes, dass in solchen Fällen die Abweichung dieser dilatirten Herzen von dem typischen, in einer Zunahme ihrer Länge auf Kosten ihrer Querdurchmesser bestanden hatte.

Ueber die Scheidewand lässt sich, obgleich sie sich der directen Beobachtung entzieht, durch die Messungen der Herzoberfläche in den beiden Längsfurchen, der sichere Aufschluss gewinnen, dass sie in der Systole ihre Länge nicht vermindert, abgesehen davon, dass auf ein solches Verhalten schon aus der Unveränderlichkeit der Länge des linken Ventrikels zu schliessen ist.

Da sich aber die Musculatur des Septums in der Systole mit contrahirt, so wird eine Abnahme seiner Länge nur dadurch unterbleiben können, dass durch die Verkürzung von hinten nach vorn diejenige von oben nach unten aufgehoben wird, wobei eine Zunahme seines Querdurchmessers, welche die beabsichtigte Verkleinerung der Ventrikelhöhlen unterstützen würde, nicht ausgeschlossen ist.

Wesentlich anders verhält sich die Aussenwand des rechten Ventrikels. Es ist schon erwähnt worden, wie sich der Conus arteriosus in der Diastole über das Niveau der Basis nach aufwärts erhebt um sich bei der Systole herabzusenken. Hierdurch wird, wie es auch die Projectionen der Vorderfläche (Taf. XV Fig. 3*c* und Taf. XVI Fig. 5 und 6) erkennen lassen, der systolische Längsabstand von der Herzspitze bis zum oberen Rande des Conus geringer als der diastolische.

Wenn man am rechten Ventrikel Marken in der Art angebracht hat, dass die einen an seinem oberen Rande (rechte Atrioventriculargrenze), die anderen an seinem unteren Rande (vordere Längsfurche) und die dritten zwischen diesen beiden, längs der Höhe seiner Wölbung sitzen, so lässt sich aus der Veränderung der Lage dieser Punkte der Vorgang bei der Contraction des rechten Ventrikels klar erkennen:

Es sind nämlich an dem contrahirten Herzen die Marken in der Längsrichtung des rechten Ventrikels (von der hinteren Längsfurche zur Pulmonalarterie hin) einander näher gerückt; es sind ferner die Bogenlinien, welche quer über das rechte Herz gehen (von Punkten der Ringfurche zu solchen der vorderen Längsfurche) und endlich die directen Abstände dieser Punkte kürzer geworden. Das heisst, die Raumverminderung des rechten Ventrikels setzt sich aus drei Momenten zusammen: 1) Verkürzung der Länge, 2) Abflachung der gewölbten Aussenwand und 3) Verschmälerung (Annäherung des oberen Randes an den unteren). Die Abweichung, die der erste dieser drei Momente in dem Verhalten des rechten und linken Ventrikels erkennen lässt, erklärt sich daraus, dass der rechte Ventrikel an den linken so angefügt ist, dass seine Längsaxe sich einem Querdurchmesser des linken Herzens schon sehr beträchtlich nähert, also einer Linie, die auch dort die stärkste systolische Abnahme erfährt.

Die bisher geschilderten Vorgänge bei der Contraction des Herzens würden sich im Groben dadurch nachahmen lassen, dass man beide Hände

um das gefüllte Herz legt und durch Gegeneinanderdrücken der Hohlhandflächen den Inhalt aus dem Herzen treibt. Eine weitere Prüfung lässt erkennen, dass in Wirklichkeit noch eine andere Art von Bewegung stattfindet. Wenn man die Basis desselben diastolischen und systolischen Herzens parallel zu einer unterliegenden Horizontalebene stellt, und von den gleichen Marken der Basis aus die Lothe auf die Herzoberfläche zeichnet, so stellt sich heraus, dass im contrahirten Herzen andere Punkte auf diese Lothe fallen, als am dilatirten. Es hat sich nämlich bei jenen die Aussenfläche des linken Ventrikels in der Richtung nach der vorderen Längsfurche hin verschoben, d. h. der Ventrikel hat eine Drehung nach rechts um seine Längsaxe erfahren; von der ruhig bleibenden Basis nimmt diese Drehung gegen die Spitze allmählich zu und lässt sich am leichtesten dadurch erkennen, dass die hintere Längsfurche am systolischen Herzen nicht mehr senkrecht verläuft, sondern von der Basis gegen die Spitze hin etwas nach links hin abweicht.

Ein Blick auf die Anordnung der Muskelfasern des Herzens wird genügen, die Ursache dieser Erscheinung zu erkennen. Wenn die Herzmusculatur die Kammern in lauter Zügen umkreiste, die parallel zur Basis verliefen, so würde eine Axendrehung nicht eintreten. So umkreisen aber die Faserzüge das Herz in der Richtung nach abwärts und links. Da nun die Länge des Herzens nicht abnimmt, so bleibt von den Componenten des Zuges jeder Herzfaser die horizontale, in der Richtung der Basis übrig, und diese dreht das Herz nach rechts um die nicht rotirte Basis.

Die Höhlen des Herzens.

Der linke Ventrikel.

Wir gehen, um die Raumveränderungen im Innern des Herzens darzustellen, wieder von der Gestalt der dilatirten Höhle aus, und lassen die Schilderung von der des contrahirten Herzens folgen. Um die mechanischen Einrichtungen zu verstehen, durch welche die eine Form aus der anderen hergestellt wird, werden wir von selbst auf eine Betrachtung der musculösen Wände geführt werden und an die Schilderung des systolischen und diastolischen Actes wird sich naturgemäss die des Spieles der Atrioventricularsegel anschliessen.

Die Höhle des dilatirten linken Ventrikels erscheint an Ausgüssen wie ein kurzer und weiter Schlauch, in den oben ein nur wenig engerer, kurzer Hals führt, und der unten abgerundet endigt. Der obere Abschnitt der Höhle setzt sich in die beiden grossen Oeffnungen fort, von

denen die hintere, das Ostium atrioventriculare in der Verlängerung der Ventrikelaxe liegt, während die vordere in den Aortenanfang übergeht, dessen Axe gegen die des Ventrikels eine nicht unbeträchtliche Neigung besitzt. Beide Oeffnungen sind nur durch das vordere Segel der Mitralis von einander geschieden.

Die Innenwand der Höhle ist mit Kämmen oder Leisten besetzt. Dieselben sind durch schmale Rinnen von einander getrennt und sind sämmtlich parallel zur Längsaxe des Ventrikels gestellt, sodass die Furchen und Rinnen alle gegen die Oeffnungen der Basis hinführen. Nur ein Bezirk der Innenwand bleibt frei von solchen Kämmen und ist völlig glatt, das ist der in den Aortenanfang führende obere Theil der Scheidewand. Unter den Längsleisten fallen drei durch ihre Mächtigkeit als besondere Wülste in die Augen: die beiden in die Aussenwand gefügten Papillarmuskeln und ein dritter Wulst, welcher sich zwischen Septum und vorderem Papillarmuskel in die Höhe zieht. Wir werden ihm den Namen „vorderer Längswulst" geben. Er ist gewöhnlich, wie es ja oft auch bei den Papillarmuskeln der Fall ist, durch ein oder zwei Furchen in seiner ganzen Länge oder nur theilweise in zwei oder drei secundäre Wülste gespalten. Alle diese Vorsprünge beginnen als niedrige Erhebungen wenig über dem Boden der Höhle. Sie nehmen dann schnell an Umfang zu und endigen an der Grenze des ersten und zweiten Drittels der Totalhöhe des linken Ventrikels in ganz gesetzmässiger Reihenfolge so, das zuerst der hintere Papillarmuskel aufhört; ihn überragt der vordere um einige Millimeter und über dessen Spitze schiebt sich in schräger Richtung das obere, sanft abnehmende Ende des vorderen Längswulstes. Der oberste Theil der Kammerhöhle bleibt also ebenfalls frei von grösseren Vorsprüngen, obschon er nicht die Glätte des Septums erhält. Entsprechend der Weite der Ventrikelhöhle sind diese Wülste durch breite Wandstücke von einander getrennt. Von ihren Seitenflächen treten zahlreiche kurze Fäden an die Nachbarleisten und in gleicher Weise sind diese selbst unter einander verbunden. Die Fäden verlaufen in der Querrichtung des Herzens und ihre Zahl ist so gross, dass man ihrer leicht 70 und mehr in der linken Kammer zählen kann.

Ausführlicher hat zuletzt Paladino[1] über dieselben berichtet. Die Abbildungen der Querschnitte des dilatirten Herzens werden die beschriebenen Verhältnisse genügend veranschaulichen (Tafel XVI Fig. 4).

Um sich die Beziehungen zwischen Ventrikelhöhle und Aortenanfang zu vergegenwärtigen, möge man sich daran erinnern, dass im oberen Abschnitt der Kammer sich das vordere Segel der Mitralis quer von der Aussen-

[1] G. Paladino. Contribuzione all' anatomia, istologia e fisiologia del cuore. *Movimento med. chirurg.* Napoli, 1876.

wand zum Septum spannt. (Vgl. Fig. 4 Nr. 13 Taf. XVI.) So wird die Höhle in zwei Röhrenstücke getheilt, von denen sich das kleinere vordere in den Aortenanfang fortsetzt. Dieser ist also an seinem vorderen Umfange noch eine ganze Strecke musculös, während seine hintere Wand, die Fortsetzung des Mitralsegels, von Anfang an membranös ist. Um sich mit dem vorderen Abschnitte zu vereinigen erhält dieser hintere eine sehr starke Neigung nach vor- und aufwärts. An seine Innenfläche sind die hinteren Abschnitte der beiden hinteren Semilunartaschen befestigt, von denen die rechte die Mündung der gleichen Coronararterie aufnimmt. Die vorderen Abschnitte dieser Klappen finden ihre Befestigung, wie die ganze vordere Klappe auf dem musculösen Rande der Ventrikelbasis. Die Ursprungsstellen der Aortenwurzel von der Basis des Ventrikels, und die Linien, in denen sich die Semilunarklappen als freie Membranen erheben, sind also nicht dieselben, sondern beide bleiben durch einen ansehnlichen Streifen des musculösen Ventrikelrandes getrennt. Hierdurch wird ein erheblicher Antheil von dem Gewicht der Blutsäule in der Aorta den Semilunarklappen abgenommen und auf die Ventrikelbasis übertragen. Und zwar wird die Belastung der Semilunarklappen um so geringer, da der vom Ventrikelrande gebildete Theil des Taschenbodens in der Querebene liegt, die man sich durch den Aorteneingang gelegt denken kann, während die Semilunarklappen fast senkrecht gegen diese Ebene empor steigen. (Fig. 5.) Den Semilunarklappen der Pulmonalarterie dagegen, welche im Vergleich zur Aorta nur eine niedrige Blutsäule zu tragen haben, ist die Unterstützung derselben allein übertragen.

Die Axen der beiden grossen Arterienwurzeln kreuzen sich unter rechtem Winkel, indem die Aorta sich von ihrem Ventrikel aus in der Richtung nach vor- und aufwärts begiebt, während die Pulmonalarterie nach auf- und rückwärts steigt. Die Ebenen, welche man sich jederseits durch die tiefsten Punkte der befestigten Ränder der Klappentaschen gelegt denken kann, würden senkrecht zur Axe des Gefässes stehen.

Die Höhle des contrahirten Ventrikels erscheint auf Querschnitten in dem ganzen Abschnitt, welcher die Papillarmuskeln enthält, als eine enge, sternförmige Spalte. Ueber den Spitzen der Papillarmuskeln bleibt auch im contrahirten Ventrikel ein merklicher Hohlraum zurück.

Die Figuren 1 bis 10 der Tafel zeigen, dass die Sternfigur der contrahirten Höhle 4 Strahlen bildet, durch welche ebensoviele starke Wülste von einander getrennt werden, welche die Ventrikelwand nach innen hervortreibt. Wir erkennen drei dieser Wülste als dieselben wieder, welche wir schon im dilatirten Herzen kennen gelernt haben, während der vierte dem Septum angehört. Aber welche Umwandlungen sind mit ihnen vorgegangen! Die Entfernung, die sie früher von einander trennte, ist fast bis zu ihrer gegen-

seitigen Berührung geschwunden. Statt der trennenden flachen Wandstücke sehen wir im Grunde schmaler und tiefer Spalten neue kleine Wülste entstanden, und aus den mittelgrossen Erhebungen, welche die Papillarmuskeln und der vordere Längswulst vorher bildeten, sind sie jetzt zu mächtigen Vorsprüngen geworden. — Das Septum hat sich in der Richtung von vorn nach hinten verkürzt; seine auf einen kleineren Raum zusammengeschobene Innenwand hat sich in kleine Längsfalten gelegt, die nur im allerobersten Abschnitte, am Eingang in die Aorta fehlen.

Ueber den Spitzen der Papillarmuskeln erweitert sich die Spalte zu einem Hohlraum (Supra-Papillarraum), der aber an Ausdehnung beträchtlich hinter dem des dilatirten Herzens zurücksteht. Der Uebergang der Spalte in diesen Raum ist ein ganz allmählicher, da sich erst die Spitze des vorderen Papillarmuskels über die des hinteren, dann das obere Ende des vorderen Längswulstes über die Spitze des vorderen Papillarmuskels hinwegschiebt. Die Querfäden sind, wenn auch mühsamer, in den engen Spalten zwischen den Wülsten zu finden und sind erschlafft.

Ausgüsse der systolischen Höhle zeigen den suprapapillären Raum als einen massiven Kern; nach abwärts setzt sich derselbe in vier, an eine gemeinsame Axe befestigte Blätter oder Flügel fort, entsprechend den vier Spalten. Die Vertiefungen zwischen den Flügeln entsprechen den grossen Wülsten, und wo diese längsgespalten waren, zeigt der Abguss eine kleine Längsleiste. Was aber am meisten auffällt ist eine äusserst klar ausgesprochene spiralige Drehung der Blätter. Dieselben laufen von der Basis zur Spitze rechts um, also umgekehrt wie die Muskelzüge an der äussern Herzfläche. Am erweiterten Herzen ist von einem solchen spiraligen Verlauf der Vorsprünge an der Innenwand kaum eine schwache Andeutung zu sehen.

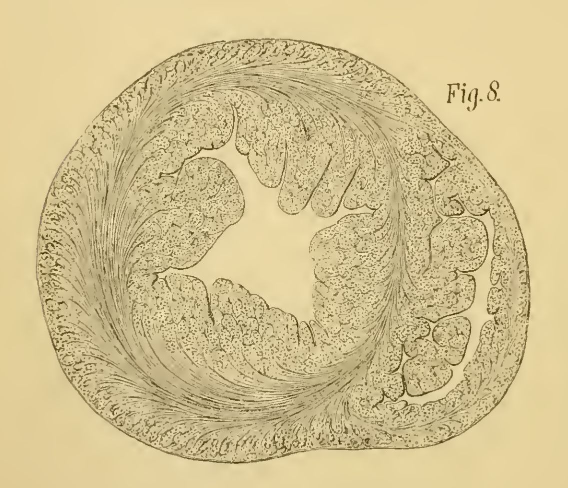
Die Ventrikelwand.

Das Volum des Muskels bleibt bei der Contraction unverändert, sodass er in einer Richtung gewinnt, was er in der entgegengesetzten verliert. Diesem Gesetze ist natürlich auch das Herzfleisch unterworfen, obschon es auf den ersten Blick nicht so zu sein scheint, da wir das systolische Herz verschmälert finden, ohne dass seine Länge zugenommen hätte. Indess die Zunahme tritt hier an der Oberfläche ein, welche sich der äusseren Betrachtung entzieht, d. i. an der Innenfläche der Herzhöhle.

Man betrachte die Figur 4, wo die Querschnitte zweier gleichgrosser Herzen, eines im dilatirten, das andere im contrahirten Zustande neben einander gestellt sind, um sich zu überzeugen, wie sich die Ventrikelwand überall auf Kosten der Höhle verdickt hat.

Da die Länge des Ventrikels sich nicht ändert, und die Contraction ohne auffällige Ungleichmässigkeiten erfolgt, so lässt sich das Verhalten der Herzmusculatur beim Uebergang aus dem diastolischen in den systolischen Zustand schematisch durch die Aufgabe ausdrücken: Ein Bandring soll, ohne dass sich sein Flächeninhalt ändert, zuerst einen Kreis von grösserem und dann einen solchen von kleinerem Durchmesser umschliessen. Die Abnahme der Peripherie des Ringes wird um so bedeutender sein, je grösser sein Radius und je geringer seine Dicke ist. Daher die ausserordentliche Abnahme, welche die Peripherie des Herzens durch die Contraction des rechten Ventrikels erfährt. (Vergl. Fig. 4.)

Planimetrische Messungen der in Fig. 4 abgebildeten Querschnitte zeigen in der That, dass der Flächeninhalt der Muskelwand in gleichen Höhen am systolischen und diastolischen Herzen derselbe ist; wenigstens sind die Differenzen nicht grösser, als man sie mehr den Fehlern zuschreiben dürfte, welche der ganzen Methode anhaften müssen.


Fig. 8.

Die Aenderungen, welche die einzelnen Stücke des Ventrikel-Querschnittes erfahren, sind aus den Figuren leicht ersichtlich; es ist aber noch ein Blick auf die Richtung der Muskelfasern zu werfen, welche den Querschnitt zusammensetzen. Dieselben sind dreierlei Art. Der Lichtung zunächst liegt eine Zone längsgestellter Fasern, welcher vorzugsweise die Papillarmuskeln und der vordere Längswulst angehören. Die Aussenfläche der Ventrikelwand bilden Züge, welche schräg nach abwärts und links ziehen. Die grösste mittlere Masse aber besteht aus Faserzügen, bei denen die Querrichtung beträchtlich überwiegt, sodass sie im Querschnitt fast wie reine Ringfasern erscheinen. Demselben Grundplane folgt die Anordnung der Muskelzüge in der Scheidewand.

Die Mechanik der Verengerung und Erweiterung des Herzens.

Versuchen wir es jetzt die bisher gewonnenen Erfahrungen zur Erklärung des systolischen Vorganges und der Erscheinungen zu verwenden, welche den Uebergang des contrahirten in den dilatirten Ventrikel kennzeichnen.

Wir können uns den Querschnitt des linken Ventrikels als aus zwei concentrischen musculösen Ringen zusammengesetzt denken. Der äussere besteht vorzugsweise aus Ring- der innere aus Längsfasern und beide sind am Ende der Diastole schmal und gedehnt. Der äussere zieht sich bei der Contraction zu einem Ringe von kleinerem Umfange und grösserer Breite zusammen, ohne seinen Flächeninhalt zu ändern, sodass eine Flächendifferenz zwischen der Peripherie des dilatirten und der des contrahirten Querschnittes auf Kosten des Lumens entsteht, welches der dilatirte Ring einschloss. Bei diesem Vorgange wird der innere, longitudinalfasrige Ring in das Lumen der Höhle hineingetrieben und da er für die ihm jetzt gebotene Fläche zu gross ist, legt er sich in Längsfalten, ganz wie es mit der Innenhaut des contrahirten Herzens geschieht. Dieser Faltung ist dadurch eine ganz bestimmte Regelmässigkeit vorgeschrieben, dass schon im diastolischen Herzen die innere Längsmusculatur drei besonders starke Wülste bildet, die beiden Papillarmuskeln und den vorderen Längswulst; diese bilden auch bei der Contraction die Hauptvorsprünge, während sich die zwischen ihnen befindlichen glatten Wandstücke in Form von kleineren Längswülsten in die Spalten hineindrängen, welche zwischen jenen übrig bleiben.

Es erscheint also die Ringsmusculatur des Ventrikels als diejenige, welche recht eigentlich die Verengerung der Höhle hervorbringt, während die longitudinalen Fasern dazu nur wie ein Füllmaterial benutzt werden.

Indessen ist die Rolle, welche die Längsmuskeln bei dem Vorgange spielen, keineswegs eine ausschliesslich passive. Beim Uebergang der Ventrikelform aus der halbkugligen in eine kegelartige wandeln sich die Längsfasern aus den Bogen in die ihnen entsprechenden Sehnen um, wobei sie eine nicht unbeträchtliche Aenderung ihrer Länge erfahren können. Ausserdem aber liegt in der Combination der nach beiden Richtungen hin wirkenden Fasern das Geheimniss, wesshalb die ganze Dickenzunahme, welche die Herzfasern bei ihrer Verkürzung erfahren müssen, der Verkleinerung der Ventrikelhöhlen zu Gute kommt. Eine Ringfaserschicht allein würde bei der Systole eine Verlängerung des Herzens zur Folge haben, eine reine Längsfaserschicht eine Verbreiterung. Da sich aber jetzt der letzteren die Ringfaserschicht widersetzt und da die Verlängerung, welche durch die Contraction der Ringfasern erzeugt werden müsste, ihren Widerstand in dem Zuge der Längsfasern findet, so bleibt für beide Faserarten nur ein Ausweichen in die Ventrikelhöhlung möglich.

Die Papillarmuskeln können zur Raumverminderung der ganzen Höhle gar nichts beitragen, denn wenn sie sich auch verdicken, so verkürzen sie sich in demselben Maasse, und schaffen dabei über ihren Spitzen so viel neuen Raum, als sie unten verdrängen. Dass sie im contrahirten Herzen, wie es von verschiedenen Seiten angegeben worden ist, weniger über das Niveau der Innenwand hervorragen sollen, ist nach alledem nicht zuzugeben, und widerlegt sich durch die Betrachtung der Querschnittsbilder ohne Weiteres. Uebrigens ist durch Zufühlen mit dem Finger während der Pulsation des Herzens, eine Entscheidung hierüber nicht zu erwarten; denn der Finger wird allseitig umschnürt, und verliert dadurch die Möglichkeit abtastende Bewegungen zu machen; andererseits sind die Spalten zwischen den Wülsten der Innenwand in der Systole viel zu eng, um dem Finger die Möglichkeit zu geben, die ganze Oberfläche derselben abzufühlen. Endlich ist aber gar nicht ersichtlich, wohin sich dann die Papillarmuskeln in der Systole verkriechen sollten, da sie von der Ringfaserschicht, die sich gleichzeitig mit ihr erhärtet, wie von einem geschlossenen Panzer umhüllt werden.

Der wesentlichen Forderung, dass die Gestalt, welche die Innenfläche der Höhle in der Systole annimmt, dem ausströmenden Blute so wenig Hindernisse entgegenstellt als möglich, ist in ausgezeichneter Weise Rechnung getragen. Die Wülste und Rinnen sind alle in der Richtung des Blutstroms angebracht und führen gegen die Ausflussöffnung hin, ohne dass Quervorsprünge entstünden oder plötzliche Aenderungen im Lumen erfolgten. Der obere Theil der Höhle aber, an welchem die gesammte Blutmenge, die der Ventrikel aufgenommen hat, vorübergleiten muss, ist aus Flächen von ganz besonderer Glätte und Gleichmässigkeit gebildet, nämlich dem Septum und der Ventrikelfläche des vorderen Mitralsegels.

Dass der Blutstrom nicht einfach nach oben steigt, sondern in Folge der spiraligen Anordnung der Wülste und Furchen an der Innenwand der Höhle eine Rotation erhält, ähnlich wie das Projectil eines gezogenen Geschützes, ist nicht durch directe Beobachtungen ermittelt worden, ist aber nach dem Bau der Innenwand wohl kaum zu bezweifeln.

Die Erweiterung des Ventrikels nach der Contraction erfolgt für die innere Längsmusculatur wie die Entfaltung eines Faltenfilters durch die aufgegossene Flüssigkeit. Unter dem Drucke des einströmenden Blutes rücken die grossen Wülste auseinander und die kleinen Zwischenwülste breiten sich zu glatten Wandstücken aus, wobei die erschlaffte Ringmusculatur auf grössere Kreise hinausgeschoben wird.

Für die Annahme, dass ausser dem Zug der Lunge und dem in die Herzhöhle und die Gefässe der Wand eindringenden Blute noch eine andere Ursache für die Erweiterung des Herzens am Ende der Systole vorhanden

sei, sprechen bekanntlich die Versuche von Goltz und Gaule.[1] Eine active Unterstützung würde namentlich für die Erweiterung der Ostia venosa sehr erwünscht sein, um sie plötzlich aus der stark verengten in eine weiter geöffnete Spalte überzuführen, durch welche das Blut aus den Vorhöfen rasch seinen Weg in die Ventrikelhöhlen finden könnte. Eine Hülfe hierzu könnte auf mehrfache Weise geboten werden, so z. B. durch die zwischen die Muskelränder eingeklemmten sehnigen Massen der Klappen, bez. deren Ansätze an die Umgebung der venösen Mündungen, eine Wirkung, die in dem ausgedehnten Zustande der Vorhöfe eine Unterstützung finden könnte. Möglicher Weise aber kommen ausser diesen, nur auf die Mündung wirkenden Kräften noch andere, weiter verbreitete in Betracht, welche auf die gesammte Wand des Ventrikels wirken. Da die weiche Beschaffenheit der erschlafften Wand des lebendigen Ventrikels die Annahme ausschliesst, dass sie nach Beendigung der Systole vermöge ihrer Elasticität in eine von diesen letzteren bedingte Gleichgewichtslage zurückspringe, so könnte man für die active Ausdehnung der Höhlen die Spannung der Muskeln verantwortlich machen, welche während der Systole dadurch erzeugt ward, dass die gleichzeitig nach verschiedenen Richtungen hin sich zusammenziehenden Muskeln jeden einzelnen derselben an dem Uebergang in die Lage verhindern (oder in eine andere Lage drängen als die), welche er bei seiner alleinigen Anwesenheit einnehmen würde. Würden z. B. die Längsmuskeln durch die sie umgreifenden circulären nach innen zu ausgebogen, sodass sie den in ihnen wirksamen Kräften entgegen, sich nicht mehr in gerader Linie zwischen ihren Ansatzpunkten erstrecken könnten, und liesse auch nur um einen Moment die Contraction in den circulären Fasern früher nach als in den längsverlaufenden, so müssten jetzt die ersteren einen Anstoss empfangen, vermöge dessen sie sich zu einer Bewegung anschickten, die der Eröffnung der ventriculären Höhle zu gute käme. — Einmal eingeleitet könnte nun die Erweiterung durch das Eingreifen der anderen Kräfte zu Ende geführt werden.

Diese Federwirkung wird um so energischer ausfallen, je weniger die einzelnen Muskelstücke zusammenhängen, da sie sich sonst darin aufhalten und hemmen. Vielleicht darf man diesen Sinn dem trabeculären Baue des Froschventrikels zuschreiben, für welchen eine Unterstützung der die Ventrikelausdehnung hervorbringenden Kräfte desshalb vorzugsweise erforderlich ist, weil das Froschherz der erweiternden Wirkung des Coronarblutes und der Respirationsorgane entbehrt.

Das System der Querfäden, die sich an der Innenfläche des linken Ventrikels finden, scheint die regelmässige Art der Entfaltung zu sichern,

---

[1] Pflüger's *Archiv der ges. Physiologie.* Bd. XVIII. S. 100.

wie sie im Interesse der schnell erfolgenden systolischen Faltung gefordert wird. Dass sie einer übermässigen Erweiterung des linken Ventrikels vorbeugen sollten, ist desshalb nicht wahrscheinlich, weil der rechte Ventrikel, der wegen seiner Dünnwandigkeit einer solchen Einrichtung viel mehr bedürftig erscheint, ihrer entbehrt und weil durch andere Mittel diese Aufgabe, wie wir noch zeigen werden, viel wirksamer erfüllt wird.

Im oberen Drittel des linken Ventrikels blieb, wie wir sahen, ein Raum, den auch die stärkste Contraction nicht zum verschwinden bringt. Er bleibt bestehen, weil die Papillarmuskeln, ein wesentlicher Theil der Ausfüllungsmasse des Herzlumens, nicht in den obersten Abschnitt der Kammerhöhle hinaufreichen.

Die Frage nach der Bedeutung dieses Raumes steht im engsten Zusammenhange mit der über

die Mechanik der Mitralklappe.

In den Betrachtungen über den Schluss der Atrioventricularklappen ist bisher das Hauptgewicht auf die Frage gelegt worden: auf welche Weise schliessen die Klappensegel die Vorhofs-Kammeröffnung ab, da die Circumferenz der letzteren selbst als ganz oder fast unveränderlich angenommen wurde. Nachdem unsere Untersuchungen gezeigt haben, dass die Basis des systolischen Herzens in hohem Maasse schmäler ist als die des diastolischen, müssen wir den die Atrioventricularöffnungen umschliessenden Muskeln einen eigenen, wesentlichen Antheil am Schliessungs-Mechanismus der venösen Oeffnungen zuerkennen.

Ein Versuch, der oft angestellt und ebenso oft ungenügend gedeutet worden ist, wird dies bestätigen. Füllt man den schwachen Ventrikel von der Aorta her, so lässt die Mitralis die Flüssigkeit ausfliessen; man mache denselben Versuch an einem Herzen in künstlicher oder Todenstarre so schliesst die Mitralis. Man schrieb dieses Verhalten der Wirkung der Papillarmuskeln zu. Indess da man durch künstliche Verkleinerung der Basis (durch Umlegen von Fäden oder Eingypsen) auch am erschlafften Herzen die Vorhofsklappen zum Schluss bringt, so wird man auch der Verengerung der Vorhofsöffnung eine wesentliche Betheiligung an dem Vorgange zuerkennen müssen.

Und ist es denn in der That nicht einleuchtend, dass sich mit einem cylindrischen Segel, wie es die Vorhofsklappe darstellt, eine kleine Oeffnung sicherer verschliessen lässt als eine grosse?

Indess, wie kommt es nun, dass bei der systolischen Verschmälerung der Basis die Zuflussöffnungen des Ventrikels verengt werden, die arteriellen Ausflussöffnungen aber nicht? Denn es leuchtet ein, dass ohne diese Vor-

sicht die Verschmälerung der Basis ein Hinderniss für die Entleerung des Ventrikels sein würde.

Die Anordnung der Ventrikelmusculatur lässt, wie wir gesehen haben, nicht zu, dass sich im oberen Abschnitt des Herzens die Ventrikelwandungen bis zum völligen Verschwinden der Höhle nähern, sondern es bleibt immer ein Raum über den Papillarmuskeln, der in die grossen Oeffnungen der Basis übergeht. Es handelt sich nur darum, dass dieser Raum nach dem Aorteneingang eröffnet, nach der Atrioventricularöffnung aber geschlossen werde und diese Aufgaben erfüllt das vordere Mitralsegel. Dasselbe wird vom aufsteigenden Blutstrom sogleich von dem Aorteneingange hinweg und in die Atrioventricularöffnung hineingetrieben, sodass es mit ein und derselben Bewegung die Erweiterung der einen und den Verschluss der anderen Oeffnung herbeiführt. Die Erweiterung des Aorteneinganges wird dann vervollständigt dadurch, dass der Blutstrom auch den ganzen Theil der Aortenwurzel, der sich unmittelbar in das Mitralsegel fortsetzt, in derselben Richtung ausbuchtet. Weshalb aber das Klappensegel vom Blutstrom immer nach dieser Richtung gedrängt wird, und nicht nach der entgegengesetzten, ist aus der Stellung verständlich, die das Segel einnimmt. Die beiden Papillarmuskeln entspringen von der Aussenwand der linken Kammer. Je mehr sich die Höhle erweitert, um so mehr entfernen sie sich deshalb von der Scheidewand. Dadurch, dass sie den unteren Rand des Klappensegels mit sich nehmen, während der obere seine Entfernung vom Septum nicht ändern kann, ertheilen sie dem Segel eine solche Neigung gegen die Axe des Ventrikels dass der systolische Blutstrom sogleich auf die Fläche trifft, welche das Segel der Ventrikelhöhle zuwendet und dasselbe wird hierdurch um so sicherer nach den Vorhofsmündungen hingeführt, weil ihnen von dort aus kein Druck entgegentritt.

Dass der Hauptantheil an dem Verschluss der Vorhofsöffnung dem vorderen Segel der Mitralis zukommt, ist aus diesen Betrachtungen ersichtich und ist aus der Grösse dieses Segels im Vergleich zum hinteren a priori zu erwarten. Auch für das letztere ist der Gefahr vorzubeugen, durch das in der Diastole einströmende Blut so an die Wand gedrückt zu werden, dass der systolische Blutstrom nicht seine Ventrikel- sondern seine Vorhofsfläche treffe. Es sind hier wiederum die Papillarmuskeln, welche dem Segel eine solche Neigung geben, wie sie der Verschluss der Oeffnung erfordert. Denn da die Spitzen der Papillarmuskeln der Axe des Ventrikels näher stehen, als der befestigte Rand der hinteren Klappe, so kann auch der freie Klappenrand, der dem Zuge der Chordae folgt, beim Beginn der Contraction nicht der Wand anliegen. Ausserdem würden die Furchen, welche durch die Faltung der Ventrikelwand unterhalb des Klappenansatzes

entstehen, eine Leitungsbahn abgeben, wodurch das Blut in der Systole gegen die untere Fläche des Segels geführt wird.

Die Klappensegel bilden mit den Zwischenzipfeln einen geschlossenen Ring um die Vorhofsöffnung. Durch die Aufblähung in der Systole erfahren sie eine solche Wölbung, dass der Theil welcher dem befestigten Rande zunächst liegt, horizontal gestellt wird, während der an den freien Rand angrenzende Abschnitt mehr senkrecht steht. Je mehr die Vorhofsöffnung sich verkleinert um so mehr legen sich die Segel in radiäre Falten, sodass endlich die ganze Klappe nicht aus 2 sondern aus 4 oder 5 Stücken zusammengefaltet erscheint. In Fig. 7 sieht man an einer in der Systole gestellten (menschlichen) Mitralis die Furchen, welche durch diese Faltung hervorgebracht sind, als dunkle Linien, während die helleren Streifen, welche sich noch auf den Klappensegeln befinden, schmalen Einsenkungen entsprechen, die durch den Ansatz des Chordae an der entgegengesetzten Klappenfläche hervorgebracht werden.

Für den Verschluss des Spaltraumes zwischen beiden Segeln wird von Anfang an dadurch gesorgt, dass jeder Papillarmuskel an jedes Segel Chordae schickt. Hierdurch werden sofort mit Beginn der Systole die freien Ränder einander genähert und der Blutstrom, der beide Segel an ihrer unteren Stelle trifft, vervollständigt und sichert ihren Schluss.

Die geringe Blutmenge, welche in dem systolischen Herzen zurückbleibt, bringt vermöge der ihr angewiesenen Lage den Vortheil mit sich, die Flächen der gegen einandergepressten Zipfelklappen vor einer allzu innigen Berührung zu schützen und damit eine Adhäsion zu verhüten, welche der raschen Entfaltung ein Hinderniss sein würde. Von einer vielleicht noch grösseren Bedeutung ist der Theil des mit Blut erfüllten Raumes, welcher unterhalb der Semilunarklappen bleibt; fehlte derselbe, so dürfte es den freien Abschnitten der Aortenklappen wegen mangelnden Spielraumes unmöglich sein, sich unter dem Drucke des Aortenblutes der Art zu entfalten, wie es der Abschluss der Aorten- und Ventrikelrichtung verlangt.

An jedem Herzen, das in der dilatirten Form erhärtet ist, kann man sich überzeugen, dass das vordere Klappensegel mit seinen Chordae nicht schlaff herabhängt, sondern geradlinig zwischen seinen Befestigungspunkten ausgespannt ist. Wenn nun das Segel in der Systole eine Knickung erfährt, so müssen sich seine oberen und unteren Befestigungspunkte näher treten, da das Sehnengewebe der Klappe eine nennenswerthe Dehnung nicht zulässt. Der Papillarmuskel würde demnach in der Systole eine solche Dislocation zu erfahren haben, dass seine Spitze dem befestigten Rande des Klappensegels näher tritt.

Hiermit sind nicht nur die Angaben der meisten Autoren im Widerspruch,

sondern die Gleichzeitigkeit der Contraktion der Papillarmuskeln und der Ventrikelmusculatur erweckt von vornherein die entgegengesetzte Erwartung.

Wir mussten wiederum den Weg des Experimentes einschlagen, um den wirklichen Sachverhalt kennen zu lernen. In die Vorhofswand wurde nahe an der Ringfurche ein Messingring eingenäht, sodass sich der schlaffe Ventrikel im Zustande mässiger Dilatation befand. Nach Entfernung der Klappensegel und ihrer Chordae wurden in die Spitzen der Papillarmuskeln und in die Basis der Ventrikel Nadeln eingesetzt und die Abstände ihrer Kuppen in horizontaler und verticaler Richtung gemessen. Darauf wurde der Metallring entfernt, das Herz nach der früheren Art zur Contraction gebracht und die Messung wiederholt. Es zeigte sich ganz ausnahmslos, dass die Spitzen der Papillarmuskeln sich dem Aortenostium in horizontaler Richtung sehr bedeutend genähert hatten, während ihr senkrechter Abstand von der Ebene der Atrioventricularöffnung unverändert war, öfterer aber auch um einige Millimeter abgenommen hatte.

In der Annäherung der Papillarmuskeln an das Aortenostium ist also das Moment enthalten, durch welches das Klappensegel in den Stand gesetzt wird, seine systolische Form anzunehmen. Diese Annäherung ist aber offenbar so gross, dass die Klappensegel zu weit in den Vorhof hineingetrieben würden, wenn nicht die systolische Verkürzung der Papillarmuskeln den Fehler compensirte.

Der rechte Ventrikel.

Wenn ich dem rechten Ventrikel nicht die gleiche Ausführlichkeit widme wie dem linken, so ist die Ursache dafür nicht die, dass derselbe nicht ebenfalls eine Menge eigenthümlicher Verhältnisse darböte, welche der Erforschung werth wären. Da mich aber private Gründe daran hindern, mich dem Gegenstande jetzt weiter zu widmen, so füge ich hinzu, was ich aus den bisherigen Befunden in fragmentarischer Gestalt für mittheilenswerth halte, in der Hoffnung, dass es später möglich sein wird, die Lücken auszufüllen.

Der Ausguss der dilatirten Höhle zeigt an seiner Aussenfläche dieselbe doppelte Convexität wie die Oberfläche der Aussenwand. An der Innenfläche ist er, entsprechend der Krümmung des Septums in der einen Richtung ausgehöhlt, während er in der Längsrichtung des Herzens platt, im oberen Theile sogar leicht convex ist.

Die geöffnete Höhle lässt ein hinteres Einfluss- und ein vorderes Ausflussgebiet unterscheiden, deren Grenze durch den vorderen Rand der Atrioventricularöffnung gegeben ist. Ein Muskelbündel, das an dieser Stelle seinen Ursprung vom Septum nimmt, und über das Niveau der Innenfläche

vorspringend, in der Oben- und Aussenwand des Conus hinzieht, kennzeichnet die Grenze beider Gebiete noch deutlicher. Den linken umgreift der rechte Ventrikel, indem er in weitem Bogen von der hinteren Längsfurche aus gegen den Anfang der linken Coronarfurche hinzieht. Da das Einflussgebiet neben die rechte Seitenfläche, das Ausflussgebiet aber an die vordere Fläche der linken Kammer zu liegen kommt, so fügen sich diese beiden Abtheilungen des rechten Ventrikels unter einem Winkel aneinander, der nur wenig grösser ist als ein rechter.

An Trabeculae carneae und Kammmuskeln ist der rechte Ventrikel viel reicher als der linke. Namentlich sind die Verwachsungsstellen mit dem linken Ventrikel (beide Längsfurchen) ganz von Muskelbälkchen ausgefüllt. Nicht minder reich an vorspringenden Bälkchen ist der obere Winkel, den die Aussenwand mit dem Ostium atrioventriculare bildet. Als glatte Flächen finden wir auch hier die Abschnitte, an denen der gesammte Inhalt des Ventrikels in der Systole hinzugleiten hat, das Septum und den Theil der Aussenwand der den Conus arteriosus bildet. Die Richtung der Kämme und der von ihnen eingeschlossenen Furchen ist vorzugsweise schräg aufwärts, gegen die Atrioventricularklappen und die Wurzel der Pulmonalarterie zu, wie es die Richtung des systolischen Blutstroms erfordert.

Im contrahirten Zustande ist die Höhle in eine schmale Spalte verwandelt, deren Krümmung entsprechend der stärkeren systolischen Krümmung des Septums zugenommen, während ihre Länge durch die Verkürzung des Septums von vorn nach hinten abgenommen hat. Im unteren Theile der Höhle haben sich die beiden Wände ganz aufeinandergelegt, während sie im oberen Abschnitte unterhalb der Atrioventricularöffnung und namentlich im Gebiete des Conus noch durch einen nennenswerthen Abstand von einander getrennt sind (Tafel XVI). — Die Papillarmuskeln der rechten Kammer entspringen, umgekehrt wie die linken, vom Septum. Allerdings meist nicht unmittelbar, sondern von dem reichen Balkenwerke, das den Winkel zwischen Septum und Aussenwand erfüllt, dicht neben dem Septum. Von diesen Muskeln erhalten die beiden Segel der Aussenwand ihre Chordae, während das schmale dritte Segel, das am Septum befestigt ist, aus diesem seine Chordae, meist ohne Papillarmuskeln, bezieht. Eine starke Sehne befestigt mit der grössten Regelmässigkeit die vorderen Ecken des Septumsegels und des vorderen Aussenwandsegels an ein und denselben Punkt des Septums im Eingange des Conus arteriosus. Die Fortsetzung dieser Sehne ist ein schmaler Kammmuskel, der sich eine Strecke weit schräg aufwärts in den Conus hinzieht.

Auf Querschnitten bildet die Aussenwand des diastolischen Ventrikels, wie es die Abbildungen zeigen, weit gespannte Bögen. Im contrahirten

Herzen vermindern sie ihre Spannung durch Verkürzung und Annäherung an's Septum, wobei sie an Dicke entsprechend zunehmen.

Ueber die Vorgänge unter denen die Contraction des rechten Ventrikels erfolgt, konnten schon aus der Betrachtung der äusseren Fläche so bestimmte Schlüsse gezogen werden, dass den dort gegebenen Erörterungen nur wenig hinzuzufügen bleibt. Die Senkung des Conus arteriosus erklärt sich aus der Wölbung seiner Fasern, die um eine Axe gekrümmt sind, welche nahezu einen rechten Winkel mit der Längsaxe des linken Ventrikels bildet.

Die Contraction bewirkt eine Annäherung des freien an den befestigten Rand und es zeigt so die Vorderfläche des rechten Herzens in der That eine systolische Abnahme ihrer Höhe. An der Hinterfläche hingegen, wo sich der freie Rand mit dem Septum vereinigt, kann eine gleiche Senkung nicht eintreten und es bleibt folglich hier die Höhe des Herzens unverändert. Dass dieses Verhältniss nicht genügend berücksichtigt wurde, ist die Ursache gewesen, dass die meisten Autoren, von einer systolischen Verkürzung des Herzens überhaupt gesprochen haben.

In der Contraction des linken Ventrikels ist übrigens schon ein verengender Einfluss auf den rechten gegeben. Denn, wenn sich das Septum stärker krümmt und verkürzt, so wird hierdurch eine Raumverminderung der rechten Höhle und ein Zug auf die Aussenwand desselben erzeugt, welche für die systolischen Kräfte des rechten Herzens unterstützend wirken müssen.

Die Persistenz eines bluterfüllten Spaltraumes unterhalb der Tricuspidalklappe hat ihre Gründe in dem Vorhandensein der Papillarmuskeln und in der Concavität des oberen Abschnittes des Septums (in der Längsrichtung des Herzens). Die Papillarmuskeln legen sich in der Systole zwischen Septum und Aussenwand und hindern die unmittelbare Berührung beider oberhalb ihrer Spitzen. Im Gebiete des Conus arteriosus aber wird durch die Gegenwart einer oberen Wand verhindert, dass sich die Aussenwand auf das Septum legen und so das Lumen ganz verschliessen könne.

Die Erweiterung der Höhle geschieht, abgesehen von den dilatirenden Einflüssen ausserhalb des Herzens, dadurch, dass das vom Vorhof her einströmende Blut die Aussenwand vom Septum abdrängt. Da diese in Folge ihrer Befestigung an den linken Ventrikel eine Verschiebung nach abwärts nicht erfahren kann, so bleibt nur eine solche nach auswärts und aufwärts übrig, die sich in einer Zunahme der Wölbung und in einer Erhebung des oberen Randes ausdrücken. Wie die geringe Druckhöhe im linken Vorhof dazu veranlasste nach Momenten zu suchen, welche die zur Füllung erforderliche Erweiterung des dickwandigen linken Ventrikels unterstützen, so wird es auf der anderen Seite durch die Dünnwandigkeit der rechten Kammer nahe gelegt, nach Einrichtungen zu fragen, welche einem etwaigen Ueber-

maass der Ausdehnung der rechten Kammer vorbeugen könnten. Und wie dort in dem Druck des Blutes in dem Coronararterien und in dem Zug des Athmungsapparates, so können auch hier mehrere Einrichtungen demselben Zwecke dienstbar erscheinen. Die Aussenwände des Ventrikels könnten durch Unterstützung ihrer Aussen- oder Innenfläche daran verhindert werden, sich über ein gewisses Maass hinaus von dem Septum zu entfernen. Die Sehnenfäden, welche in circulärer und querer Richtung an der Innenfläche der Kammerwände befestigt sind, könnten in dem einen, der Herzbeutel, der das dilatirte Herz eng umschliesst, in dem anderen Sinne wirken. Indess durch Versuche, die wir über diesen Punkt anstellten, sind wir zu der Einsicht gelangt, dass die musculöse Ventrikelwand in sich selbst die Eigenschaften besitzt, durch welche sie den beiden oben ausgesprochenen Forderungen in ausgezeichneter Weise gerecht wird.

Der Widerstand, welchen die lebendigen Wände des linken Ventrikels der Ausdehnung entgegenstellen, welche bei der Füllung der Höhle eintreten muss, gestaltet sich der Art, dass mit dem von Null anhebenden Füllungsdruck anfänglich die vom Ventrikel aufgenommenen Flüssigkeitsmengen direct proportional mit der Höhe der drückenden Säule wachsen. Ist die Füllung bis zu einem gewissen Grade gediehen, so verschwindet jedoch die bis dahin vorhandene directe Proportionalität derselben zum Druck. Von nun ab nimmt und zwar in fortwährend steigendem Maasse für gleiche Unterschiede des Druckes der Zuwachs ab, welchen die Räumlichkeit der Höhle erfährt.

Ein diese Abhängigkeitsverhältnisse erläuterndes Beispiel giebt die folgende Zahlenreihe über deren Gewinnung Folgendes zu bemerken ist. An dem überlebenden Herzen wurde die Aorta durch einen Kork verschlossen, wobei der Unterbindungsfaden unterhalb der Coronararterien angelegt ward. In die linke Atrioventricularöffnung wurde ein zweiter Kork gefügt, in dessen Bohröffnung eine Glasröhre mit Millimetertheilung eingesetzt war. Man taucht dann das weiche Herz bis zum Niveau der Atrioventricularöffnung in ein mit Blut gefülltes Gefäss und füllt es bis zum gleichen Niveau mit derselben Flüssigkeit. Darauf lässt man eine bekannte Menge Blut in das Glasrohr fliessen, verzeichnet den Stand des Flüssigkeitsspiegels in demselben und fährt in derselben Weise fort, bis endlich eine Druckhöhe von etwa 400^{mm} erreicht ist. Wenn man für jede Druckhöhe den Inhalt des Füllungsrohres abrechnet, so erhält man die Blutmengen, die der Ventrikel bei der bestimmten Druckhöhe aufgenommen hat. Zuletzt misst man den Gesammtinhalt des Ventrikels und des Füllungsrohres, vermindert dieses Quantum um das des vom Nullpunkt an zugefügten Blutes und erhält so die Blutmenge, welche das Herz zu Anfang, bei dem Druck 0 enthielt. Es betrug in unserem Beispiele $23 \cdot 8^{ccm}$.

Druckhöhe in Millim. Blut.	In Millim. Quecksilber.	Inhalt des Ventrikels in Cubikcm.	Zuwachs des Druckes um Millim. Blut.	Zuwachs der Füllung um Cubikcm.	Zuwachs der Füllung für eine Erhöhung des Druckes um je 10mm Blut. (In Cubikcm.)
0					
10	0·78	4·2	10	4·2	4·2
21	1·6	8·9	11	4·7	4·2
33	2·48	14·0	12	5·1	4·2
44	3·3	18·3	11	4·3	3·9
72	5·6	27·4	28	9·1	3·5
105	8·1	32.4	33	5·0	1·5
140	10·7	35·4	35	3·0	0·9
166	12·9	37·2	26	1·8	0·7
228	17·7	39·3	62	2·1	0·3
272	21·1	40·1	44	0·8	0·2
339	26·3	41·0	67	0·9	0·1
377	29·2	41.6	38	0·7	0·1
			377	41·7	

Die Zahlen drücken ausser dem oben ausgesprochenen Gesetz noch die wichtige Thatsache aus, dass die Wandungen des Ventrikels im Beginn der Diastole sehr weich und nachgiebig sind, sodass sie unter dem geringen Druck von 5·6 mm Hg schon eine sehr bedeutende Ausdehnung gestatten. Aus diesen Eigenschaften der Wand gehen für den Strom aus den Venen in die Höhle des Ventrikels und für den Widerstand, welchen die Elasticität der schlaffen Wand ihrer Umformung in die systolische Gestalt entgegensetzt, wesentliche Vortheile hervor. In Anbetracht der kurzen Zeit, während welcher die Diastole besteht, wird man aus den angeführten Thatsachen folgern dürfern, dass das Einfliessen aus den Venen und aus dem Vorhofe (bez. den Lungen) selbst bei einem geringen Druck noch mit merklicher Geschwindigkeit geschehen könne, ohne dass von Seiten der Herzwand eine besondere Begünstigung geboten würde, wie sie durch eine sogenannte active Diastole herbeizuführen wäre. Für die Kräfte, welche bei der Ueberführung aus der diastolischen in die systolische Form thätig sind, kann es aber nur vortheilhaft sein, wenn ihnen durch die Steifigkeit der ruhenden Herzwand kein nennenswerther Widerstand entgegentritt.

Ueber den Mechanismus des Klappenschlusses der Tricuspidalis dürfen wir uns nach der ausführlichen Schilderung die wir der Mitralis gewidmet haben, kurz fassen. In den wesentlichen Punkten stimmt das Spiel beider Klappen überein, doch bedingen die Abweichungen im Bau der Ventrikel einige Modificationen der einzelnen, das Klappenspiel zusammensetzenden

Momente. Wir begegnen hier wie dort der systolischen Verengerung der Atrioventricularöffnung. Dieselbe günstige Stellung, wie sie das vordere Segel im linken Herzen erhält, nehmen im rechten die beiden Wandsegel ein, denn durch die Befestigung der Papillarmuskeln an's Septum erlangen sie in der Diastole eine Neigung, die um so grösser wird, je mehr sich die Atrioventricularöffnung erweitert. So trifft der Blutstrom im Augenblicke der beginnenden Systole nur auf die Ventrikelfläche der Segel. Die Ausbuchtung, welche dieselben hierdurch gegen den Vorhof hin erfahren, dient gleichzeitig dazu, die Kammer von diesem abzuschliessen und dem nach der Pulmonalarterie hin führenden Strombett des Ventrikels die möglichste Geräumigkeit zu verschaffen.

Die Papillarmuskeln haben hier wie links die Erschlaffung der Chordae zu verhüten, welche durch die Annäherung des Klappensegels an das Septum eintreten würde.

Da die Aussenwand sich unterhalb der Klappen und im Conus nicht auf das Septum auflegen kann, so bleibt hier ein kleiner Raum übrig, der nie völlig blutleer und dessen Bedeutung für die Anforderungen an die arteriellen und venösen Klappen mit dem übereinstimmt, was beim linken Herzen über denselben Raum gesagt wurde.

Die Gleitflächen für den systolischen Blutstrom zeichnen sich durch ihre Glätte aus und wo die Innenwand Vorsprünge besitzt, sind dieselben in einer solchen Richtung angebracht, dass sie dem ausströmenden Blute so wenig als möglich im Wege stehen.

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1 und **2.** Vertical-Projectionen desselben Herzens in seiner systolischen und diastolischen Form. (Grosser Hund).

Fig. 1. von der Vorderfläche, Fig. 2 von der Basis. — Die Projection des contrahirten ist in die des dilatirten eingezeichnet. Die römischen Ziffern geben die Nadelpunkte des dilatirten, die arabischen die des contrahirten Herzens an. (Vgl. S. 333 des Textes.)

Fig. 3. *A—D* Vertical-Projectionen des Herzens zweier gleichgrossen jungen Hunde desselben Wurfs (vgl. S. 333 des Textes); die blaue Zeichnung stellt das dilatirte, die rothe das contrahirte Herz dar.

A Rückfläche, *B* linke Seitenfläche, *C* Vorderfläche, *D* Basis, *E* die Constructionen der Frontalschnitte durch die Mitten derselben Herzen aus den Querschnitten der Figur 4.

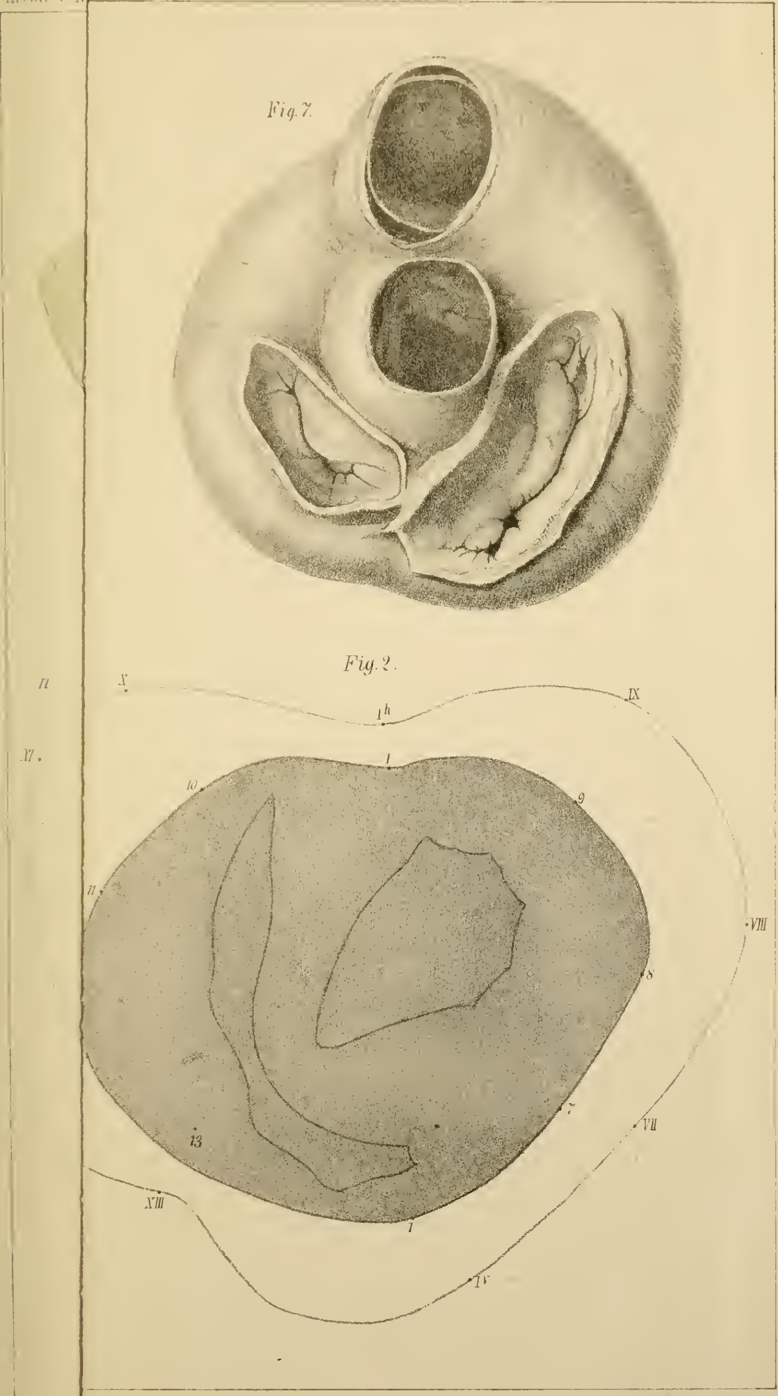
Fig. 4. Die Querschnitte der beiden Herzen, welche die Fig. 3 darstellt (Dicke jedes Schnittes = 3 mm).

1 bis 14 Schnitte des contrahirten Herzens der Reihe nach von der Spitze zur Basis. 1′ bis 13′: ebenso vom dilatirten Herzen.

Fig. 5. Sagittalschnitt durch ein grosses Herz im contrahirten Zustand (Hund).

Fig. 6. Sagittalschnitt durch ein dilatirtes Hundeherz. Der Schnitt läuft durch das Septum atriorum.

Fig. 7. Die gestellten Vorhofsklappen eines menschlichen Herzens.



Lith Anst. v. F. A. Funke Leipzig

Fig. 3 A

Fig. 3 B.

Fig. 3 D.

Fig. 7.

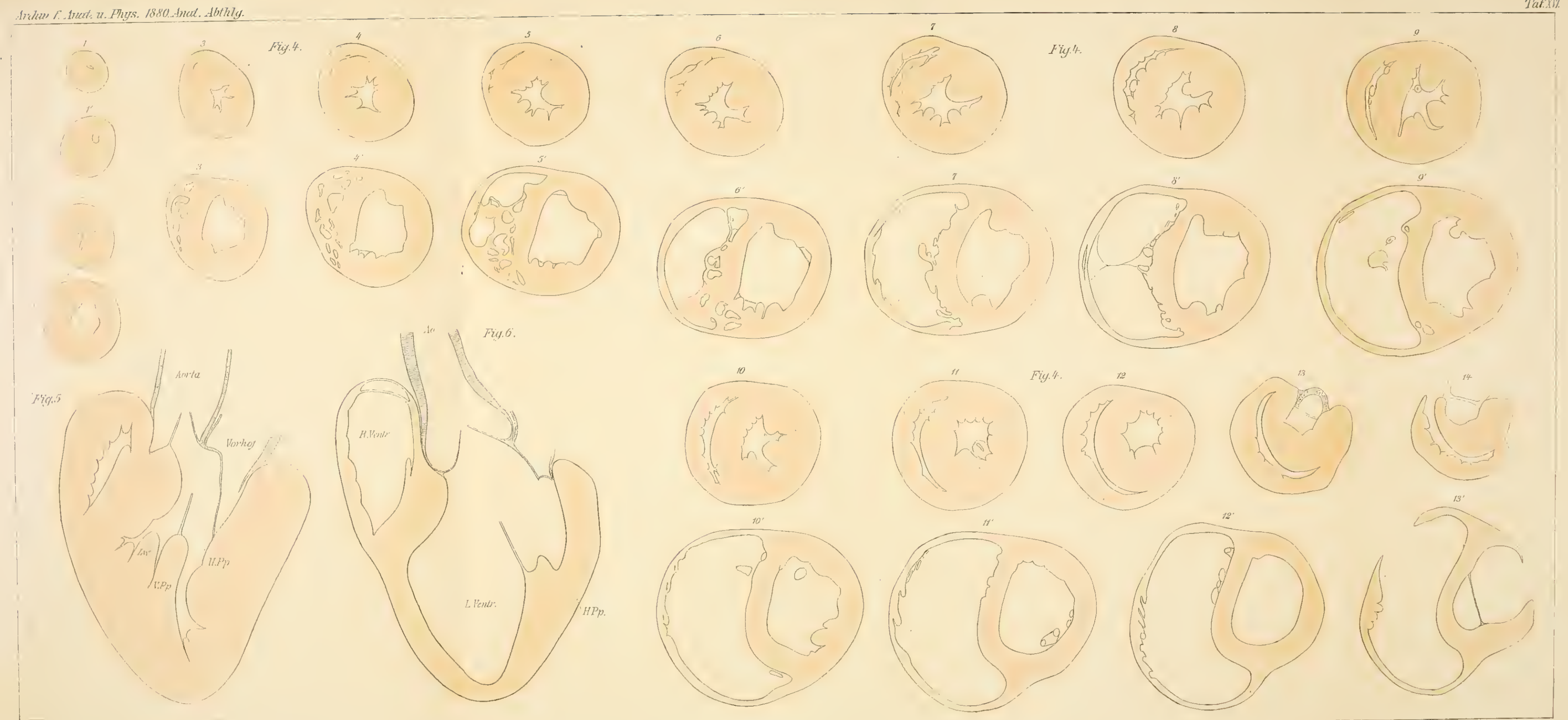
Fig. 1.

Fig. 3 C

Fig. 2.

Fig. 3 E


7
7
11
11'



Verlag Veit & Comp. Leipzig

Lith. Anst. v. F. A. Funke Leipzig.